

Таблица

$a, \text{ м}$	$S_{\text{Al}}, \text{ Гц/мкм}$	$S_{\text{Fe}}, \text{ Гц/мкм}$
0,0025	25,31	708,83
0,0050	4,69	131,26
0,0075	1,64	45,94
0,0100	0,76	21,26
0,0125	0,41	11,55
0,0150	0,21	5,74
0,0200	0,10	2,66
0,0250	0,05	1,44
0,0300	0,03	0,87

На основании расчета чувствительностей (см. табл.) можно выбрать оптимальные режимы работы преобразователя. Для изделий из нержавеющей стали наиболее предпочтительным является диапазон изменения радиусов изделия от 2,5 мм до 25 мм. При этом чувствительность составляет $S_{\text{Fe}}=708,83$ Гц/мкм и $S_{\text{Fe}} = 1,44$ Гц/мкм, соответственно в начале и конце диапазона. Изделия из алюминия можно измерять до значений радиуса a , равных примерно 10 мм. Чувствительность ТЭМП для этого значения радиуса алюминиевого изделия составляет $S_{\text{Al}} = 0,76$ Гц/мкм. При больших значениях радиусов чувствительность ТЭМП падает.

Одним из способов повышения чувствительности, а, следовательно, расширения диапазона измерения преобразователя, может быть увеличение значения рабочей точки x . Однако при этом уменьшается глубина проникновения магнитного поля в изделие. Этот вопрос подлежит дальнейшему исследованию, так как и вопросы точности измерения радиуса изделий с помощью переменного-частотного электромагнитного метода.

Таким образом, с помощью ТЭМП измеряют переменного-частотным методом радиус цилиндрического изделия для конкретной марки немагнитного или слабомагнитного материала с известным значением удельной электропроводности.

Список литературы: 1. Себо В.П., Сиренко Н.Н., Горкунов Б.М. Определение магнитных, электрических и геометрических параметров цилиндрических изделий // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1992. – №2. – С.39-43. 2. Сандовский В.А., Носальская Н.И. Исследование возможности разбраковки прутковой стали по маркам методом вихревых токов в двухпараметровом варианте // Дефектоскопия. – 1983. – № 6. – С.30-34. 3. Себо В.П., Пантелеев М.С. Бесконтактное измерение диаметра и удельной электрической проводимости цилиндрических изделий // Заводская лаборатория. – 1987. – Т.53. – №9. – С.48-51. 4. Багмет О.Л. К теории электромагнитного преобразователя температуры. Сборник научных трудов ХГПУ «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – Вып.7 – Ч.3 – Харьков. – 1999. – С.86-88.

К.Ю. БЕЗИМЯННА, інж. ПІМ НАН України,
А.М. КОЛЕСНИКОВ, головний технолог ПІМ НАН України,
К.А. КОМАРОВ, наук. співроб. ПІМ НАН України,
О.В. ТАЛЬКО, мол. наук. співроб. ПІМ НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕННЯ АКУСТИЧНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ ДВОВИМІРНОГО ДЕФЕКТУ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению закономерностей формирования акустического поля малой интенсивности вблизи двумерного дефекта. Показана возможность использования нелинейных эффектов акустического поля малой интенсивности для контроля по качеству контактов порошковых материалов.

In the article results of experimental researches of detection of low of formation of an acoustic field of small intensity near to two-dimensional defect are resulted. Possibility of use of nonlinear effects of an acoustic field of small intensity for the control on quality of contacts of powder materials

Вступ. Контактотворення – один із головних процесів, притаманних технології отримання порошкових матеріалів [1]. Створення досконалих контактів і контроль за їхньою якістю є традиційною проблемою порошкової металургії [2]. Для контролю процесу контактоутворення використовують різні методи, у тому числі й ультразвукові, але кожен з них має суттєві недоліки [3-5]. Тому обґрунтування та розробка нових методів актуальна.

Маловивченим напрямком вирішення цієї проблеми є використання нелінійних ефектів акустичного поля, обумовлених структурною неоднорідністю матеріалу [6]. Традиційні методи вимірювання нелінійних ефектів в акустичних полях [7] далеко не завжди придатні для цих цілей, тому що в них застосовують високий рівень механічних напружень, які можуть викликати розвинення дефекту. Останнім часом з'явилися роботи [9-10], у яких показана перспективність використання нетрадиційних методів нелінійної акустодіагностики для вирішення задач матеріалознавства.

Постановка задачі. Нелінійність у результаті структурної неоднорідності матеріалу може проявлятися навіть в акустичних полях малої інтенсивності [11]. Характерним елементом недосконалих контактів у матеріалах, отримуваних методами порошкової металургії, є двовимірна пора [4]. Виявлення закономірностей спотворення акустичного поля такою порою дозволить обґрунтувати діагностичні параметри контролю її характеристик. Всебічне дослідження акустичного поля поблизу такої поодинокі пори у порошковому матеріалі неможливо з-за розподілу недосконалих контактів в об'ємі матеріалу. Моделлю двовимірного дефекту порошкових матеріалів може бути тріщина від утомленості. Тому метою цієї роботи було дослідження закономірностей формування акустичного поля малих

інтенсивностей поблизу тріщини від утомленості й можливості використання цих закономірностей для діагностики стану порошкових матеріалів. Пошук ефективних діагностичних параметрів нелінійної акустодіагностики було проведено за допомогою модельного експерименту, результати якого узагальнено на порошкові матеріали.

Експериментальні дослідження. Проводилися на зразках з алюмінієвого сплаву Д16ЧАТ з тріщинами від утомленості. Сплав Д16ЧАТ обраний у зв'язку з його широким використанням у літальних апаратах. Зразки (рис.1 а) являли собою смуги, вирізані з листового металу, що мають прямокутний переріз і концентратор у вигляді круглого наскрізного отвору в центральній частині зразка. Така форма зразків зручна для проведення випробувань на втому і досліджень акустичного поля. Тріщини від утомленості в зразках створювали в результаті їх циклічного навантаження на установці «Амслер» [12]. Для вивчення впливу масштабного фактора при формуванні акустичного поля поблизу тріщини зі зразків були вирізані елементи (рис.1 б – г).

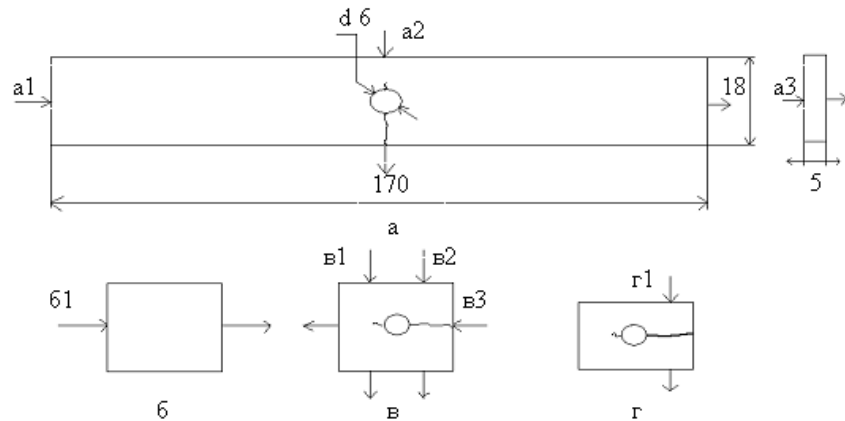


Рис. 1. Зразки для досліджень: а – вихідний зразок після випробувань на утому (надалі зразок 1); б – г – його фрагменти (зразки 2, 3, 4; номер 5 – відповідає зразку 3 із прозвучуванням уздовж тріщини)

Дослідження проводилися на установці для прецизійних вимірів параметрів пружної хвилі, розробленій в ІПМ НАНУ [13] за двома методиками. Перша реалізувала традиційний імпульсний метод [7] вимірювання вищих гармонік (рис.2 а), а друга – оригінальний метод при безперервному синусоїдальному випромінюванні (рис.2 б). Обидві методики мали на меті при невеликих рівнях збудження встановити вплив тріщини на параметри акустичного поля. Для цього методом наскрізного прозвучування на частоті 2 МГц збуджували поздовжні пружні коливання в різних

напрямах фрагментів зазначених зразків (рис.1) і вимірювали рівень і частоту другої гармоніки (рис.2 а) та амплітудну характеристику матеріалу (рис.2 б).



Рис. 2. Структурні схеми вимірювання імпульсним методом (а) та методом безперервного синусоїдального випромінювання (б)

Результати вимірювань за першою методикою представлені на рис.3, а за другою – рис.4. На графіках номери зразків і напрямків прозвучування відповідають рис.1.

При вимірюваннях у зразках з розвинутою тріщиною, починаючи з певного рівня сигналу випромінювання, акустичне поле було нестабільне в часі. Використання спеціальної методики вимірювання дозволило досягнути стабілізації результатів.

Обговорення результатів. Вимірювання у вихідному зразку (рис.1) показали, що акустичне поле в ньому нечутливе до наявності тріщини. Зменшення масштабу озвучування до порівнянного з розміром тріщини дозволило виявити вплив тріщини на параметри пружної хвилі. Цей факт говорить про те, що спотворення акустичного поля тріщиною зосереджене поблизу самої тріщини.

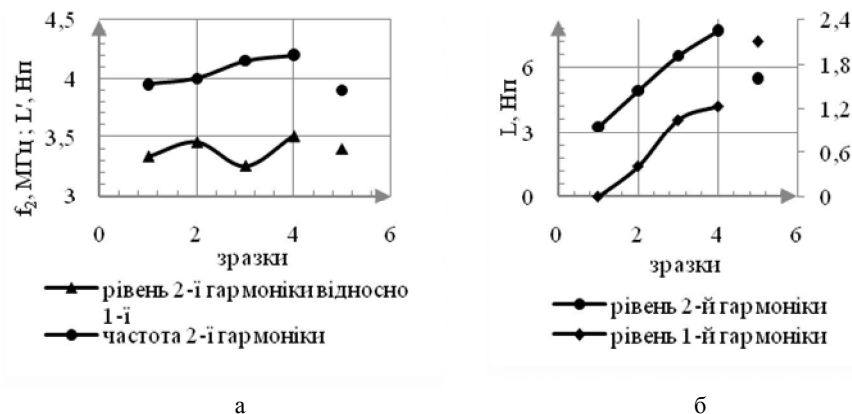


Рис. 3. Частоти другої гармоніки і її відносного рівня (а), а також рівні першої й другої гармонік (б) для різних зразків

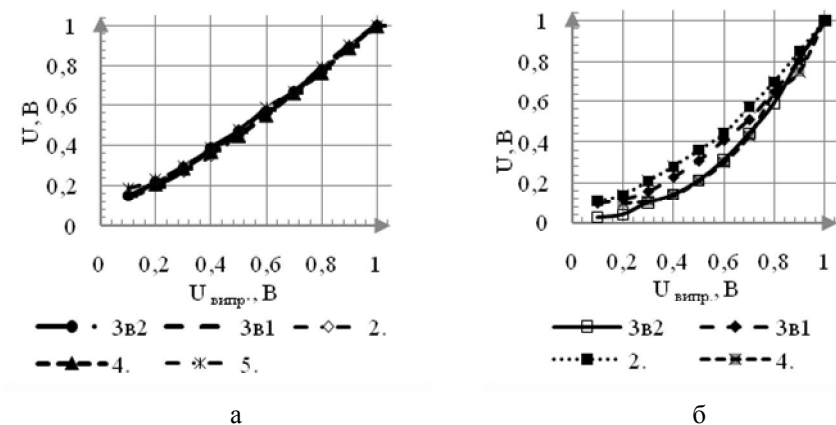
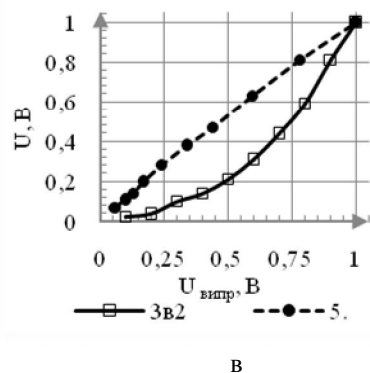


Рис. 4. Амплітудні залежності першої (а) та другої (б) гармонік для різних зразків, а також другої гармоніки при різних напрямках опромінення тріщини (в)



Результати, отримані за першою методикою, показали, що при малих амплітудах навантаження відносний рівень другої гармоніки не корелює з параметрами тріщини й не може служити інформативним параметром. Такими параметрами можуть бути абсолютне значення рівня першої гармоніки, а також абсолютне значення рівня й частота другої гармоніки.

Результати, отримані за другою методикою, показали, що при малих амплітудах навантаження амплітудна характеристика першої гармоніки не чутлива до тріщини, її розмірів й не може служити інформативним параметром. Таким параметром може бути амплітудна характеристика другої гармоніки. Додатковим індикатором наявності тріщини може служити нестабільність акустичного поля при амплітудах навантаження, перевищуючих для даного експерименту 0,5 В на вході п'єзоперетворювача.

Для обох методик характерний вплив на величину інформативного параметра напрямку опромінення тріщини (рис.4 в).

Можливість використання другої методики для контролю якості контактоутворення було перевірено на зразках двох видів порошкових матеріалів: пресовок на основі мідного порошку з вольфрамовими вкрапленнями [14] та алмазних композитів на основі металевої матриці [15]. Для цього було взято по три зразки вказаних матеріалів з різною якістю контактів. Результати вимірів наведено на рис.5.

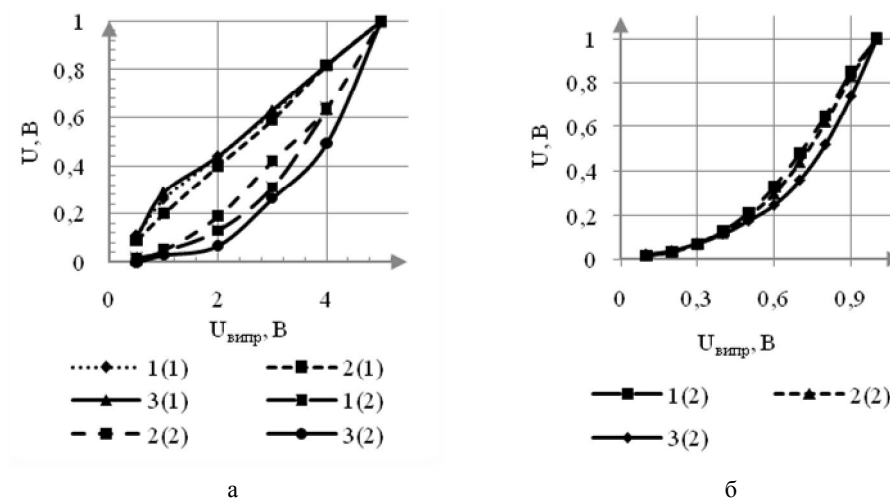


Рис. 5. Амплітудні характеристики пресовок на основі мідного порошку з вольфрамовими вкрапленнями при різній якості контактів (а, перші та другі гармоніки) та алмазних композитів на основі металевої матриці з різною якістю спікання (б, другі гармоніки)

З рис.5 видно, що результати, отримані на модельному експерименті з тріщиною від утомленості, підтверджуються і для порошкових пресовок, і для спечених порошкових матеріалів.

Висновки. Показано, що при взаємодії акустичного поля малої інтенсивності з двовимірним дефектом виникають нелінійні спотворення амплітудної характеристики другої гармоніки сигналу опромінення матеріалу, величина яких залежить від масштабу й напрямку озвучування, а також від розмірів дефекту.

Показана можливість використання нелінійних ефектів акустичного поля малої інтенсивності для контролю за якістю контактів порошкових матеріалів.

Напрямами розвитку цієї роботи можуть бути використання поперечних пружних хвиль для вирішення розглянутого завдання й перехід до відносних величин при аналізі кореляції нелінійних характеристик прийнятої пружної хвилі й параметрів дефекту.

Список літератури: 1. Косторнов А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. В 2 т. –т.1 – Киев: Наукова думка, 2002. – 572 с. 2. Бальшин М. Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. – М.: Металлургия, 1972. – 336 с. 3. Косторнов А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. В 2 т. –т.2 – Киев: Наукова думка, 2003. – 552 с. 4. Роман О.В., Скороход В.В., Фридман Г.Р. Ультразвуковой и резистометрический контроль в порошковой металлургии. – Мн.: Высш. шк., 1989. – 182 с. 5. Безымянный Ю.Г., Талько О.В. Анализ возможностей акустических методов при контроле контактообразования в порошковых материалах // Электроника и связь. – 2006. – № 1. – С. 48–57. 6. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с. 7. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П.Голяминой. – М.: Советская энциклопедия, 1979, – 400 с. 8. Зайцев В.Ю., Назаров В.Е., Таланов В.И., «Неклассические» проявления микроструктурно обусловленной нелинейности: новые возможности для акустической диагностики // УФН, 2006, т. 176, №1. 9. Nazarov V.E., Ostrovsky L.A., Soustova I.A., Sutin A.M. Nonlinear acoustics of microinhomogeneous media // Phys.Earth & Planet. Interiors, 1988, vol. 50, № 1, pp. 65-73. 10. V. Tournat, V. Zaitsev, V. Gusev, V. Nazarov, P. Bequin, B. Castagnede. Probing granular media by acoustic parametric emitting antenna: clapping contacts, nonlinear dilatancy and polarization anisotropy // Phys. Rev. Lett, 2004, vol. 92, № 8, p. 085502. 11. Гринченко В.Т., Вовк І.В., Мацитура В.Т. Основы акустики. – К.: Наук. думка, 2007. – 640 с. 12. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / Под ред. В.А.Кузьменко. – К.: Наук. думка, 1979. 336 с. 13. Безымянный Ю.Г. Возможности акустических методов при контроле структуры и физико-механических свойств пористых материалов // Порошковая металлургия. – 2001. – № 5-6. – С. 23-33. 14. Исследование корреляции скорости распространения упругой волны с параметрами композита на основе медного порошка с вольфрамовыми включениями / Ю.Г.Безымянный, Т.А.Епифанцева, Е.А.Козирацкий. // Акустичний симпозіум «Консонанс-2009». – 36. наук. праць. – Київ. – 2009. - С.83-88. 15. Исследование корреляции скорости распространения упругой волны с параметрами композита на основе металлических порошков с алмазными включениями. /Ю.Г.Безымянный, А.Н.Высоцкий, Т.И.Истомина, А.Н.Колесников, Н.Иванюк. // Акустичний симпозіум «Консонанс-2009». – 36. наук. праць. – Київ. – 2009. - С.79-82.

УДК 8:620.179

Ю.Г. БЕЗЫМЯННИЙ, д-р техн. наук, с.н.с., ІПМ НАН України,
Т.О. ЄПІФАНЦЕВА, к-т. техн. наук, с.н.с., ІПМ НАН України
Є.О. КОЗИРАЦЬКИЙ, здобувач ІПМ НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТА НА ОСНОВІ МІДНОГО ПОРОШКУ ІЗ ВОЛЬФРАМОВИМИ ВКРАПЛЕННЯМИ НА ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ ПРУЖНОЇ ХВИЛІ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению корреляции скорости распространения упругой волны с параметрами структуры композита на основе медного порошка с вольфрамовыми включениями. Показано, что эффективная скорость распространения продольной упругой волны связана с размерами и содержанием включений, пористостью, качеством контактов и потому может быть использованная как диагностический параметр указанных свойств композита.

In the article results of experimental researches of detection of correlation of speed of propagation of elastic wave with parameters of structure of a composite on the basis of a copper flour with tungsten inclusions are resulted. It is shown that effective speed of propagation of longitudinal elastic wave is connected with the sizes and contents of inclusions, porosity, quality of contacts and consequently can be used as diagnostic parameter of the specified properties of a composite.

Вступ. Композити на основі мідного порошку застосовують як конструкційні матеріали для електрокатодного обладнання, а також як вироби спеціального призначення [1]. При отриманні таких матеріалів з гарантованими властивостями доцільно в процесі їх виготовлення контролювати параметри структури, такі як щільність пресовки, якість контактів, пористість, розміри та вміст компонентів [2,3]. Перспективними для розв'язання цієї задачі є акустичні методи неруйнівного контролю [4] і, перш за все, структурночутливі імпульсні ультразвукові методи, засновані на вимірах параметрів пружної хвилі [5].

Постановка задачі. При використанні будь-якого параметру пружної хвилі для діагностики стану структури матеріалу, необхідно встановити, чи є кореляція між діагностичним параметром та параметрами структури досліджуваного композиту і чи можна виділити вплив на нього окремих елементів структури.

У роботі проведена оцінка впливу розміру та вмісту вкраплень, пористості та якості контактів на швидкість поширення пружної хвилі у пресовках на основі мідного порошку із вольфрамовими вкрапленнями. Для цього були проведені виміри швидкості поширення ефективної поздовжньої пружної хвилі у зразках досліджуваного матеріалу, отриманих за різними технологіями, з різним розміром та вмістом вкраплень, різною пористістю. Виокремлення впливу якості контактів на швидкість поширення пружної